



•研究报告•

我国迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有维管植物多样性

王利松¹, 湛青青², 廖景平², 黄宏文^{1,2*}

1. 江西省、中国科学院庐山植物园, 江西九江 332900; 2. 中国科学院华南植物园, 广州 510650

摘要: 启动实施以国家公园和国家植物园体系为主导的就地和迁地保护相结合的生物多样性保护大战略, 是我国作为世界生物多样性大国之一的科学使命和责任担当。本文以国家重点保护、受威胁和中国特有维管植物为对象, 系统梳理了这3类植物在我国植物园的迁地保护概况, 对这些植物的生活型、物种组成和系统发育多样性进行了比较分析, 以期为当下国家植物园体系建设提供科学参考和依据。结果表明, 我国植物园保存的此3类植物共计7,141种, 分属265科1,271属, 分别占我国维管植物科、属、种总数的76%、42%和23%。在7,141种植物中, 国家重点保护植物743种, 受威胁植物2,095种, 中国特有植物5,957种, 分别占我国国家重点保护、受威胁和特有植物总数的72%、59%和37%。这些植物包括乔木2,555种、灌木1,025种、草本3,117种、攀缘类419种和水生类25种。3类植物在各植物园的物种组成共有比例较低, 系统发育多样性存在显著差异。

关键词: 植物园; 迁地保护; 国家重点保护植物; 受威胁植物; 特有植物

王利松, 湛青青, 廖景平, 黄宏文 (2023) 我国迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有维管植物多样性. 生物多样性, 31, 22495. doi: 10.17520/biods.2022495.

Wang LS, Zhan QQ, Liao JP, Huang HW (2023) Vascular plant diversity of National Key Protected Wild Plants, threatened species, and endemic species *ex situ* conserved in botanic gardens of China. Biodiversity Science, 31, 22495. doi: 10.17520/biods.2022495.

Vascular plant diversity of National Key Protected Wild Plants, threatened species, and endemic species *ex situ* conserved in botanic gardens of China

Lisong Wang¹, Qingqing Zhan², Jingping Liao², Hongwen Huang^{1,2*}

1 Lushan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Jiujiang, Jiangxi 332900

2 South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650

ABSTRACT

Background & Aims: As one of the mega-biodiverse countries in the world, China has implemented *in situ* and *ex situ* biodiversity conservation programs through the national parks and the national botanic gardens system respectively to responsibly study and conserve this diversity. We aimed to provide a baseline reference for the current national botanic garden system program.

Methods: We assessed the *ex situ* conservation profile in Chinese botanic gardens of plants from three categories: National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species, and endemic species. Statistical and comparative analyses of integrated data sets show that there are 7,141 species of vascular plants that have been conserved *ex situ* in botanic gardens of China. These species span 1,271 genera and 265 families, accounting for 76% of families, 42% of genera, and 23% of species of vascular plants in China.

Results: Among the 7,141 species, 743 species are National Key Protected Wild Plants, 2,095 species are threatened, and 5,957 species are endemic to China, accounting for 72%, 59% and 37% of the total number of species catalogued for these categories in China, respectively. These species include 2,555 trees, 1,025 shrubs, 3,117 herbs, 419 climbers, and 25 aquatic plants. The phylogenetic diversity is variable among these gardens, with a low proportion of shared species across gardens.

收稿日期: 2022-08-28; 接受日期: 2022-10-15

基金项目: 科技部基础性专项(2015FY210100)和江西省、中国科学院庐山植物园人才专项(2021ZWZX06)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: huanghw@scbg.ac.cn

Key words: botanic gardens; *ex situ* conservation; National Key Protected Wild Plants; threatened species; endemic species

面对气候变化、可持续发展、生物多样性保护等全球重大挑战,我国将生态文明建设纳入“五位一体”总体布局,坚持人与自然和谐共生的发展原则,开启了以建设国家公园和国家植物园两大体系为主导的、统筹“就地”和“迁地”保护相结合的生物多样性保护大战略,彰显了我国作为世界生物多样性大国的科学使命和责任担当。过去几十年来,中国生物多样性研究与保护取得了世界瞩目的成就(米湘成等, 2021; Raven, 2021; 王伟和李俊生, 2021),在国家科技部、生态环境部、林业和草原局、中国科学院等部门项目的支持下,高等植物编目(王利松等, 2015)、受威胁植物评估(覃海宁等, 2017)、迁地植物志(Huang et al, 2017)和重点野生植物保护名录(鲁兆莉等, 2021)等基础编目研究取得重要进展并积累了海量基础数据,为我国的植物多样性保护科学研究、宏观规划、政策制定和保护实践提供了重要科技支撑。

《全球植物保护战略(2011–2020)》(Global Strategy of Plant Conservation, GSPC)的大多数战略目标未能如期实现,全球植物多样性保护面临更大挑战,驱使保护生物学领域寻求更有效、更理性的解决方案。一方面尝试在2020后生物多样性框架下建立更科学且雄心勃勃的量化指标(Díaz et al, 2020);另一方面,植物多样性时空分布的不平衡性表明,全球迁地保护量化目标的实现需优先落实到局部小尺度上,再到国家和地区水平,最终使全球量化目标落地(Obura et al, 2021)。作为植物迁地保护的专业研究机构,我国植物园立足迁地保护的核心目标,对我国珍稀濒危植物、国家重点保护植物及中国本土植物开展迁地保护,始终肩负着国家的重要使命(黄宏文和廖景平, 2022; 任海等, 2022)。现代意义上的科学植物园发轫于中国虽不足百年,但对世界植物多样性迁地保护做出了重要贡献(黄宏文和廖景平, 2022; 任海等, 2022)。

受地理位置与自然气候条件、基础设施能力、科研水平、当地经济社会等多种因素制约,单个植物园在迁地保护上的作用显然存在差异和很大局限性。构建覆盖不同自然地理、气候、区系和植被

区域的以植物园为依托的迁地保护网络体系,才能更有效地发挥植物园对国家、地区和全球植物多样性保护的功能。我国植物园目前在迁地保护研究上还存在家底不清、遗传风险高、迁地保护理论与实践滞后、保护方法缺乏等瓶颈问题(黄宏文, 2018a)。本研究通过整合我国植物园迁地栽培活植物基础数据,系统梳理我国植物园迁地保护应优先关注的国家重点保护植物、受威胁和特有种3类植物的迁地保护现状,对其生活型、物种组成和系统发育多样性进行了比较分析,以期为我国植物园迁地保护提供相关基准数据,促进我国国家植物园迁地保护工作的规范化、体系化和科学化。本研究的目的:(1)分析3类植物在我国植物园迁地保护的比例和空缺状况;(2)量化3类植物的分类和系统发育多样性,及其在各植物园的分布、相似性和差异性;(3)为国家植物园体系建设提供相关的科学参考和依据,并为世界植物园迁地保护提供可比较的数据依据。

1 数据来源和方法

1.1 名录、地理分布和生活型数据

本研究使用的名录数据包括: The Leipzig Catalogue of Vascular Plants (LCVP) (Freiberg et al, 2020), World Checklist of Vascular Plants (WCVP) (Govaerts et al, 2021), World Flora Online (WFO) (Kindt, 2020); 中国高等植物名录和地理分布(王利松等, 2018)、中国受威胁植物名录(覃海宁等, 2017)、《国家重点保护植物名录》(鲁兆莉等, 2021)、《中国迁地栽培植物志名录》(黄宏文, 2014)、《中国迁地栽培植物大全》(黄宏文, 2017a)、已出版的22卷《中国迁地地植物志》(黄宏文, 2014–2021)和《中国栽培植物名录》(林秦文, 2017)。受威胁种类指按照IUCN红色名录等级和标准(IUCN, 2012)被评估为极危(CR)、濒危(EN)和易危(VU)等级的种类(覃海宁等, 2017); 国家重点保护植物为《国家重点保护野生植物名录》中所包括的种类(鲁兆莉等, 2021); 特有植物指根据目前已知分布信息,确认只在中国本土范围有分布的种类,即严格的特有种类。

植物多样性数据的整合是开展多样性综合分

析的重要基础(Heberling et al, 2021), 名录数据的整合可能是其中最具挑战性的问题之一(Borsch et al, 2020; Grenié et al, 2022)。由于所采用的分类标准不同, 包括科及其以上分类单位的分类系统, 广义或狭义属、种的界定(异名和接受名)等类群范畴, 以及学名拼写问题, 是否包括种下类群以及归化、杂交和域外植物等技术性处理差异, 常导致基于不同来源的名录绝对统计数据可比性差。解决上述问题的关键在于确立高质量的“标准参考名录”, 并对不同来源的名录数据进行标准化处理。通过比较分析, 本研究选择LCVP作为“标准参考名录”。选择LCVP的主要原因包括: (1)较好的数据匹配性: 与目前应用相对广泛的3个世界维管植物名录数据集(LCVP, WCVP, WFO)比较表明, 植物园迁地栽培活植物名录与LCVP有更好的匹配结果, 包括更多接受名(accepted)的匹配, 较低的异名(synonym)、不匹配(unmatched)和不确定分类状态(unresolved)的名称; (2)全面性: LCVP代表目前全球所有已描述维管植物, 该数据集总计1,315,562个学名, 包括351,180种维管植物(Freiberg et al, 2020)。这一数字与基于不同方法对世界维管植物物种多样性的估计比较接近(Govaerts, 2001; Paton et al, 2008; Joppa et al, 2011; Lughadha et al, 2016), 平均约35万种; (3)及时性: LCVP整合了过去40多年来分子系统学研究的新成果, 包括许多科、属概念的界定, 例如APG系统(Chase & Reveal, 2009); (4)规范性: LCVP的名称遵循当前版本的《国际藻类、真菌和植物命名法》(深圳法规)的相关规定(Turland et al, 2018); (5)可参考性: 为使我们的分析结果不仅对国家植物园建设有参考价值, 也为世界植物园迁地保护提供比较依据。

特有现象的尺度依赖性质(Daru et al, 2020)表明, 确认一个地区或国家特有种类的数量, 需要在全球尺度上对类群进行分类学研究和相关比较分析。通过整合世界植物在线(Plants of the World Online, POWO) (POWO, 2022)约40万种高等植物地理分布信息、中国高等植物名录和地理分布(王利松等, 2018)以及其他相关数据, 形成本研究依据的16,316种中国严格特有的维管植物名录(与德国World Plants数据库收录中国维管植物特有种16,421种的数据接近, <https://www.worldplants.de>)。苔藓植物迁地占比小, 未包括在本研究中。为更好地反映

中国植物园迁地保护对我国野生维管植物多样性的覆盖情况, 以及与世界维管植物物种多样性有合理和可信的比较, 本研究的名录数据处理排除了如亚种、变种、变型等种下类群, 以及栽培种和杂交类群(包括种及以上分类群)。整合和标准化处理后的名录数据含分布在我国植物园的3类植物共计7,141种。植物园数据源覆盖了我国主要自然地理、气候(郑景云等, 2010)和植物区系区划单位(陈灵芝等, 2015)(附录1)。

通过查询各种在线数据库, 包括BGCI GlobalTree Search (Beech et al, 2017)、全球维管植物生活型数据库(A Global Growth-Form Database) (Taseski et al, 2019)、TRY植物特征数据库(TRY Plant Trait Database) (Kattge et al, 2020)、美国农业部植物生活型数据库(<https://plants.usda.gov/home/growthHabitSearch>)及已出版的植物志和专著: 《中国植物志》(中国植物志编辑委员会, 1959–2004), *Flora of China* (Wu et al, 1994–2013)和《中国木本植物分布图集》(方精云等, 2009)等, 获取到全部7,141种植物的生活型数据。由于植物生活型的划分缺乏全球统一标准, 实践中存在不同分类标准, 比如IUCN红色名录的生活型分类方案(IUCN, 2020)和新世界维管植物生活型分类(Engemann et al, 2016)等。目前尚未有针对我国植物园迁地栽培活植物生活型的标准化研究。因此, 本研究使用的生活型分类包括: 乔木、灌木、草本、攀援和水生5个类别, 有别于生态学和功能多样性研究中严格定义的生活型分类。

1.2 统计和系统发育分析

为量化比较各植物园迁地保护的3类植物物种组成和系统发育多样性, 利用R软件包vegan (Oksanen et al, 2016)建立7,141种植物在69个植物园的有无(0/1)矩阵, 并计算Bray-Curtis相异性指数(Bray & Curtis, 1957)和Jaccard相似性系数(Pierre & Louis, 2012)。系统发育多样性分析采用R软件包V.PhyloMaker2 (Jin & Qian, 2022)和phytools (Revell, 2012)构建7,141种植物的系统发育树, 以系统发育多样性指数NRI (net relatedness index)和PDI (phylogenetic diversity index) (Webb, 2000; Webb et al, 2002)度量各植物园物种组成的系统发育多样性差异。这两个指数都通过随机化消除了丰富度本身

带来的估计偏差。NRI能够捕获系统树更靠近“根部”的差异, 而PDI能更好辨识系统树末端(tips)组成的差异(Qian et al, 2019)。与随机预期比较, 相对高的PDI值表明较高的系统发育多样性; 正的NRI值表明组成物种的系统发育关系相对更聚集(phylogenetically clustered), 而负的NRI值表明组成物种的系统发育关系更为分散(phylogenetical overdispersion)。使用R软件包ComplexHeatmap (Gu et al, 2016)构建物种组成和系统发育多样性分析结果的可视化图。

2 结果

2.1 3类植物迁地收集的比例和空缺

结果表明, 我国植物园迁地保护3类植物共计7,141种, 分属265科1,271属, 分别占我国维管植物科、属、种总数的76%、42%和23%。其中, 蕨类植物28科71属324种; 裸子植物8科33属133种, 被子植物229科1,167属6,684种(图1; 表1)。

在7,141种植物中, 国家重点保护的有743种, 受威胁植物2,095种, 中国特有植物5,957种, 分别占我国国家重点保护、受威胁和特有植物总数的

72%、59%和37% (图1)。既是国家重点保护、受威胁, 又是中国特有的种类有202种(占整个迁地保护3类植物总种数的3%) (图1A)。特有且受威胁的有851种(12%), 重点保护且受威胁的有306种(4%), 重点保护且特有的有92种(1%), 而仅特有、重点保护或受威胁的种类分别为: 4,821种(67%)、143种(2%)和736种(10%)。在743种国家重点保护植物中, 一级保护的有106种, 二级保护的637种, 分别占我国重点保护植物一级、二级总数的88%和70%。在2,095种迁地保护的受威胁植物中, 极危(CR) 320种, 濒危(EN) 716种, 易危(VU) 1,059种, 分别占我国受威胁维管植物总种数的57%、58%和60%。

3类植物在各植物园的组成显示, 除海南热带植物园(CRICATAS)外, 其他植物园对3类植物都有一定数量的迁地收集(附录1), 但物种组成差异大。国家重点保护植物收集最少的仅1种(海南热带植物园), 最多的有436种(华南国家植物园, SCBG), 平均91种。受威胁植物最少的3种(海南热带植物园), 最多的897种(西双版纳植物园, XTBG), 平均148种; 特有植物最少的0种(海南热带植物园), 最多的2,351种(武汉植物园), 平均340种(附录1)。国家重点保护植物收集种数最多的前10个植物园分别是: 华南国家植物园(SCBG/436种)、武汉植物园(WBG/377种)、西双版纳植物园(XTBG/372种)、昆明植物园(KBG/320种)、深圳仙湖植物园(FLBG/297种)、南京中山植物园(NBG/251种)、桂林植物园(GXIB/217种)、厦门市园林植物园(XMBG/217种)、杭州植物园(HBG/209种)和上海辰山植物园(CBG/200种)。收集受威胁植物种数最多的前10个植物园分别是: 西双版纳植物园(897种)、华南国家植物园(844种)、武汉植物园(835种)、昆明植物园(525种)、深圳仙湖植物园(487种)、南京中山植物园(409种)、桂林植物园(381种)、杭州植物园(330种)、上海辰山植物园(324种)和厦门市园林植物园(324种)。收集特有植物种数最多的前10个植物园分别是: 武汉植物园(2,351种)、华南国家植物园(1,835种)、西双版纳植物园(1,294种)、南京中山植物园(1,120种)、杭州植物园(1,026种)、桂林植物园(1,024种)、上海辰山植物园(883种)、昆明植物园(876种)、深圳仙湖植物园(853种)和华西亚高山植物园(WCSBG/832种)。上述11个植物园中, 除厦门市园

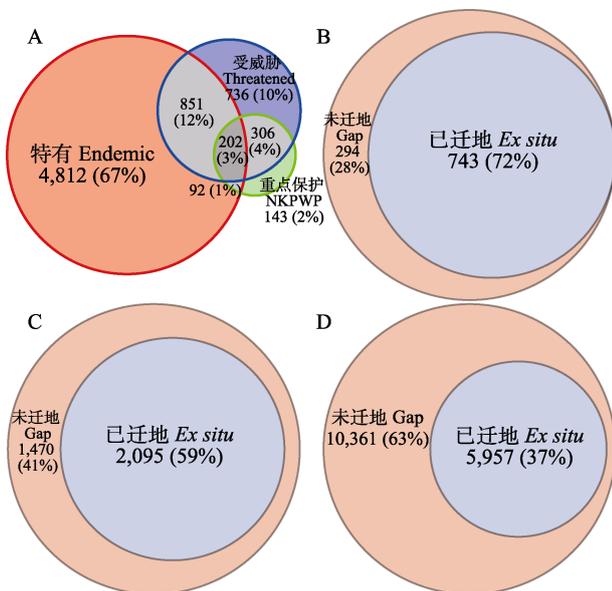


图1 我国植物园迁地保护的国家重点保护植物、受威胁和特有种类的组成(A), 以及已迁地保护的种类数量和占比, 未迁地保护的种类数量和占比(B-D)。

Fig. 1 Composition of ex situ conservation on National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species, and species endemic to China (A); and the species number and proportion of ex situ conserved and gap for NKPWP (B), threatened species (C), and species endemic to China (D).

林植物园和华西亚高山植物园外, 其他9个植物园3类植物迁地保护数量均位于前10位。

3类植物在各科的分布和迁地收集情况显示, 有些科只包括其中的一类, 如莲科和青茛叶科; 有些科则3类均有, 如木兰科和伞形科。这些科中, 有的迁地收集比例较高, 如莲科和木兰科, 超过97%的种类已迁地收集; 也有迁地收集比例较低的, 如青茛叶科和伞形科, 已迁地收集的种类不到35% (附录2)。其中, 银杏科、蕈树科、腊梅科、兰花蕉科、茅膏菜科、金莲木科等9个科所包括的3类植物已迁地收集比例达到100%。科水平上, 分别有14个、32个和20个包括有3类植物的科完全没有迁地

收集记录(附录2)。这些迁地收集完全缺失的科常包括大量典型温带高山类型的植物, 例如: 岩蕨科、罂粟科和岩梅科。

2.2 3类植物的生活型、物种组成和系统发育多样性

生活型分析显示, 7,141种植物中有乔木2,555种(占比36%)、灌木1,025种(14%)、草本3,117种(44%)、攀援植物419种(6%)和水生植物25种(0.4%) (图2)。乔木、灌木和草本的比例大约为3 : 1 : 3。总体来说, 除专门针对特定类群进行收集的深圳兰科植物园(SZLKBG)、广东神州木兰园(SZMBG)和海南热带植物园外, 其他植物园迁地收集的3类植物有不同程度的生活型多样性(图2)。

表1 我国植物园迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有植物类群多样性(粗体)与中国维管植物(王利松等, 2018)的比较
Table 1 Taxonomic diversity of conserved National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species, and species endemic to China (bold) that compared with vascular plants in China (Wang et al, 2018) (number of taxa and percentage)

类群 Taxon	科 Family	属 Genus	种 Species
蕨类 Pterydophyte	28/34 (82%)	71/164 (43%)	324/2,064 (16%)
裸子植物 Gymnosperm	8/8 (100%)	33/36 (92%)	133/237 (56%)
被子植物 Angiosperm	229/305 (75%)	1,167/2,842 (41%)	6,684/28,609 (23%)
总计 Total	265/347 (76%)	1,271/3,042 (42%)	7,141/30,910 (23%)

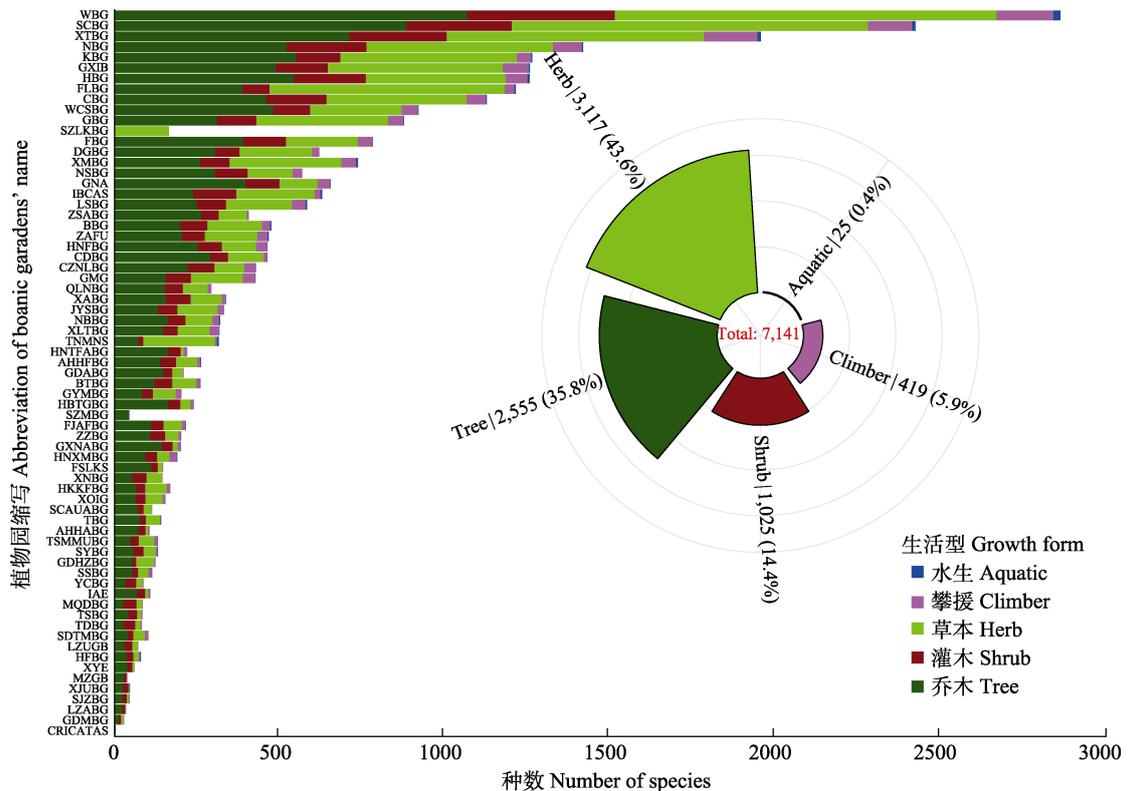


图2 我国植物园迁地保护的3类植物的生活型分布(右)及其在各植物园分布(左)。植物园缩写(Y轴标签)对应的植物园名称及相关数据见附录1。

Fig. 2 The composition of growth form on *ex situ* conserved National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species, and species endemic to China (right), and their distribution in each garden (left). The full name and related data that corresponding to each garden's abbreviated code (labels on Y-axis) see Appendix 1.

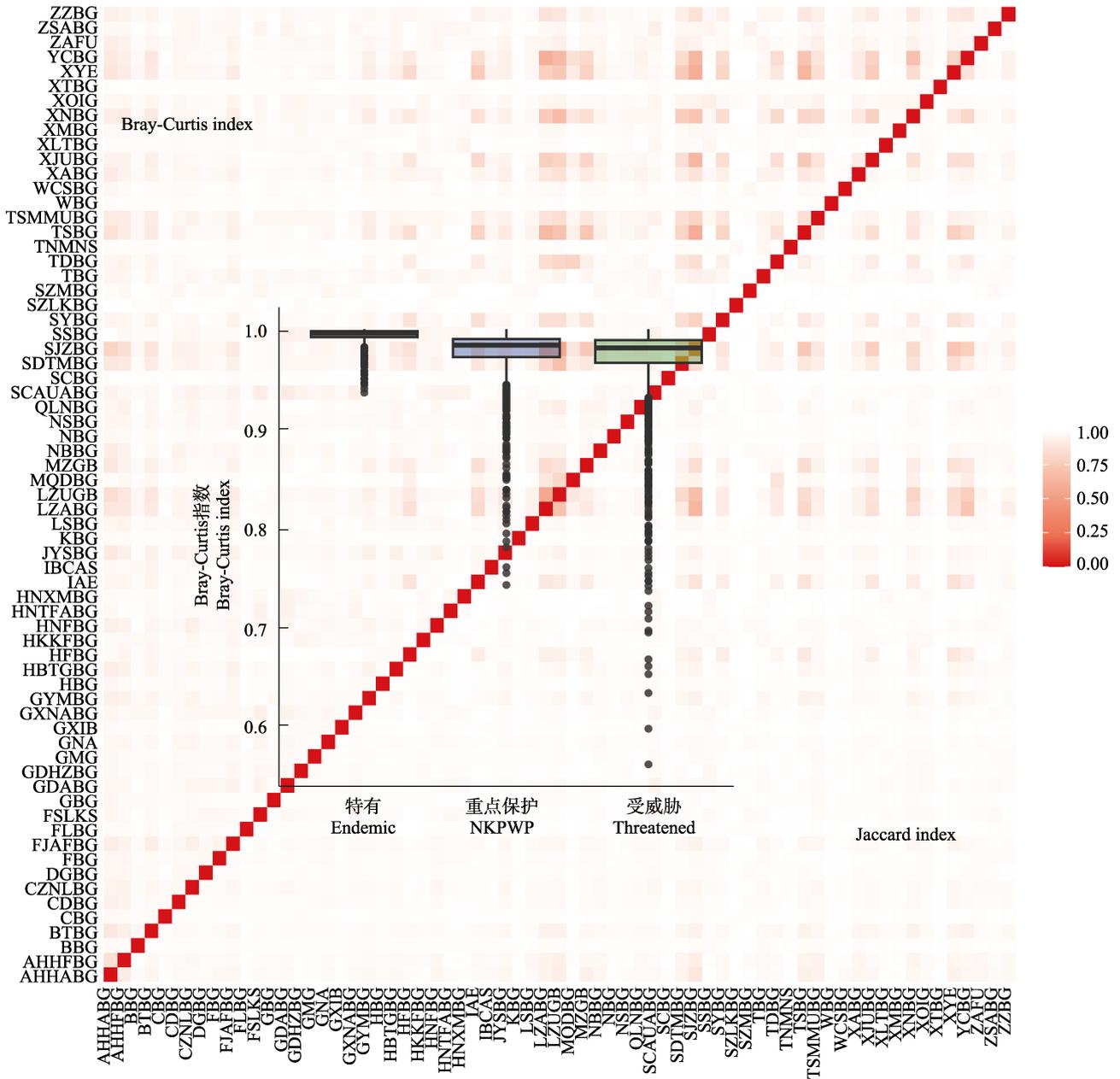


图3 我国植物园迁地保护的3类植物物种组成相似性分析; 植物园间成对比较的Bray-Curtis相异指数(左上)和Jaccard相似性系数(右下)分布图, 国家重点保护和特有种类的结果相似, 仅显示受威胁种类的结果分布图; 内嵌的箱线图表示3类植物Bray-Curtis相异指数的分布, 所有分析排除了物种数量 ≤ 10 的植物园。植物园缩写(X轴和Y轴标签)对应的植物园名称及相关数据见附录1。

Fig. 3 Species similarity for *ex situ* conserved National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species, and species endemic to China. Bray-Curtis dissimilarity index (top left) and Jaccard similarity coefficient (bottom right) and heatmap of pairwise comparisons among botanic gardens (threatened species), the results for NKPWP and species endemic to China are quite similar, maps not showing here; embedded box-plot indicate the distribution of Bray-Curtis dissimilarity index for the three plant groups, all analyses excluded botanic gardens that species numbers ≤ 10 . The full name and related data that corresponding to each garden's abbreviated code (labels on X and Y-axis) see Appendix 1.

各植物园物种组成和系统发育多样性分析比较结果显示, 大多数植物园间成对比较的Bray-Curtis相异指数都接近1 (附录3, 4; 图3), 只有

少数植物园间的接近0 (图3)。Jaccard相似性系数也是类似的结果(图3), 表明植物园间迁地收集的3类植物共有种类比例较低。各植物园迁地收集的3类

植物在物种组成和系统发育多样性上有显著差异(附录3, 4)。有些植物园迁地保育的物种多样性虽不高, 但系统发育多样性相对较高, 例如香港嘉道理农场暨植物园(HKKFBG)和厦门华侨亚热带植物引种园(XOIG)。它们的NRI指数常为负值且相对较低, 表明这些植物园迁地收集的发育上较为独特的类群比例相对较高。有些植物园虽然收集的物种多样性较高, 但系统发育多样性并不显著, 例如武汉植物园和华南国家植物园(附录3)。这些植物园常有能力更全面地收集系统发育上相关的类群, 因而“稀释”了其系统发育多样性的相对显著程度。同时, 这些收集物种数量较大的植物园其NRI指数也存在明显差异, 例如武汉植物园和华南国家植物园, 表明二者迁地收集的物种在系统发育上的独特类群不同(附录3)。

3 讨论和展望

伴随世界维管植物编目进展(Freiberg et al, 2020; Royal Botanic Gardens Kew, 2020; Govaerts et al, 2021)、新种类的发现(万霞和张丽兵, 2022)、国家编目进展(刘冰和覃海宁, 2022)以及新的分析方法(Lu & He, 2017), 有关中国维管植物种数和特有种类的统计数字在持续增长。这一方面表明全球、地区和国家尺度上植物多样性基础知识空缺的普遍性(Hortal et al, 2015), 另一方面也表明清晰地解答“到底有多少种”这一最根本的科学问题的重要性(Cracraft, 2002)。植物园迁地保护同样面临“家底不清”的问题, 且由来已久。由于迁地保育管理滞后, 活植物登录管理和迁地栽培信息记录缺乏规范, 且未受到充分重视、资源评价缺乏系统性和科学性、资料零散等原因(黄宏文, 2018a), 对涉及植物园收集与保护的一些基本问题, 比如各个植物园的活植物有多少种? 珍稀濒危植物有多少? 有哪些是重要的战略经济植物? 常常缺乏足够的支撑, 无法给出清晰的回答。过去10余年, 在科技部基础性专项《中国迁地植物志》编研项目的带动下, 积累了全国近百个植物园的迁地活植物名录, 并已汇集出版了22卷册的《中国迁地植物志》。然而, 这些名录数据因积累时间跨度大、来源复杂、缺乏统一规范、大量新的信息和数据未能及时整合等问题, 导致各植物园编目数据质量参差不齐, 影响了全面、系统、

科学地评估我国植物园迁地活植物多样性现状。这些基本问题的解决对于国家植物园体系建设和迁地保护战略的顶层设计和规划都极为重要。

本研究是目前为止覆盖我国植物园数量最多、空间取样相对最全面的统计, 研究结果能充分表明我国植物园迁地保育活植物的全面概况。尽管如此, 我们也意识到在某些具体问题上存在不足。例如, 未包括植物园系统正在积极开展的极小种群保护植物(Yang et al, 2020) (约120种); 为形成全球和国家水平上可比较的结果, 名录数据的整合排除了杂交、栽培和种下类群。因此, 本研究中部分统计数字表明的是我国植物园迁地保护植物多样性的保守估计。然而, 仅是这样的“最低”估计已充分表明我国植物园在植物迁地保护上的重要进展。中国已成为世界植物多样性迁地保护的中坚力量。世界植物园迁地保护的受威胁植物约为41% (Mounce et al, 2017), 欧洲为42% (Sharrock & Jones, 2011), 美国为40% (Kramer et al, 2011), 巴西为21.4% (Silveira et al, 2018)。我国植物园已迁地保护59%的受威胁种类, 远高于世界平均水平及欧洲、美国和巴西。

植物园迁地保护物种的生活型多样性是气候变化(Primack & Miller-Rushing, 2009; Primack et al, 2021)和功能生态学研究(Perez et al, 2019)非常重要的数据来源。研究表明, 单个物种在10个以上的植物园有迁地收集记录的种类总计1,152种。其中乔木561种、灌木84种、攀援植物69种和草本植物438种。这些植物不仅有演化上的独特代表, 如银杏(*Ginkgo biloba*) (在58个植物园有记录)、水杉(*Metasequoia glyptorosemia*) (51)、苏铁(*Cycas revoluta*) (52)等; 也有重要的资源植物, 如杜仲(*Eucommia ulmoides*) (54)、喜树(*Camptotheca acuminata*) (46)、浙楠(*Phoebe chekiangensis*) (29)、珙桐(*Davidia involucrata*) (34)等。有些种类除在我国植物园引种外, 在世界各国植物园也已被广泛引种栽培, 如七子花(*Heptacodium miconioides*) (12) (Dosmann & Tredici, 2003)。这些引种栽培的活植物代表了分布在不同地理梯度(气候和纬度等)的样本, 相关的生物学特征能够反映植物对原产地和引种地不同气候条件的适应和响应特征。在全球气候变化背景下, 这些大量活植物的收集是未来珍稀濒危植物野外回归和恢复中不可替代的资源(Primack et

al, 2021)。

虽然总体上我国植物园对3类植物的迁地保护覆盖情况较为乐观,但仍存在不足。例如,重点保护植物有294种(28%)、受威胁植物有1,470种(41%)、特有植物有10,361种(63%) (图1)尚待开展有针对性的迁地收集和保育研究。这一现状与“2035年实现中国85%以上野生本土植物的迁地保护,珍稀濒危植物100%迁地保护和20%以上的野外回归”的目标(任海等, 2022)仍然存在很大差距。作为世界植物多样性最丰富的国家之一,中国在全球植物多样性保护中一直发挥着主导作用(Huang, 2011; Huang et al, 2013; Ma et al, 2017)。然而,植物园迁地保护植物多样性在很大程度上被忽视或没有得到充分评估。我国特有植物种类繁多,占比高,且类型复杂多样,大部分种类的分布范围狭窄,这对我国植物园迁地保护而言是个巨大挑战。未来国家植物园体系建设需要针对这些特有植物开展系统性科学研究,包括灭绝风险评估,从而确定合理的收集策略,有效增加特有种的迁地收集比例。总体上看,地处亚热带湿润气候条件下的植物园对3类植物的迁地保护占绝对的数量优势,这归因于优越的水热气候条件,也与国家和地方政府对植物园的长期支持和投入密切相关。3类植物在各科的不平衡分布及不同程度的迁地保护空缺表明,我国植物园未来的迁地保护仍然需要坚持长期专科专属和一些专门植物类群的研究收集,从而弥补这些不同植物类群的迁地保护空缺。

对于拥有一定数量的国家植物园体系而言,考虑在时间和资源有限的条件下,既能保障对国家和地区植物多样性多维度的保护覆盖度,又避免植物园间同质化冗余收集的问题,仍然需要大量的科学研究和评估。以各植物园3类植物物种组成和系统发育多样性分布为例:物种和系统发育组成相似性高,能够尽可能保障相同物种在各植物园的多个备份,有效降低遗传风险。反之,差异性大则表明各植物园迁地收集的独特性和唯一性。两者需要兼顾平衡,科学统筹。植物园的迁地保护不仅需要考虑物种组成上的多样性,也需要充分考虑系统发育多样性的维度。在未来的迁地保护收集中,应优先考虑增加生命之树上的“树枝”而不是“树叶”,从而保护更多进化上的独特单元。同时,在国家植物园体

系下,迫切需要制定国家级水平的迁地收集政策(collection policy),统筹考虑“国家目标”,地区植物多样性代表性以及具体植物园的适宜收集对象等问题,不宜片面追求单个植物园收集物种数量的扩容。此外,各植物园间共有物种比例低的事实也暗示了植物园迁地收集的3类植物存在遗传风险高等问题。这也是目前世界植物园迁地保护实践中最具挑战性的问题(黄宏文, 2018a; 黄宏文和廖景平, 2022)。

依托植物园的迁地保护像一条随时间流淌的河流,其“源头”是分类、地理分布、遗传多样性、种群动态、灭绝风险评估、生态和适应进化等众多基础科学研究领域对具体保护对象的长期知识积累,需要不断融合科学发展的新知识和新方法。同时,必须清醒认识到,任何时候迁地保育的活植物都会存在一定数量的死亡,开展野外考察和植物引种收集是植物园必须长期坚持的目标(黄宏文, 2018a)。若干“迁地保护明星物种”,如水杉(Tang et al, 2011)、银杏(Crane, 2019)和富兰克林树(*Franklinia alata*) (Gladfelter et al, 2020),有的野外灭绝,仅见于植物园,如富兰克林树;有的则通过迁地保护已成为世界知名的行道树(street tree),比如银杏和水杉,它们的迁地保育实践表明,依托植物园体系广泛和长期的引种栽培和科学研究,是珍稀濒危植物保护成功的重要基础。

世界陆地生态系统未受到人类干扰的比例大概不足1/4 (Ellis et al, 2021),全球维管植物可能高达39%的种类存在灭绝风险(Nic Lughadha et al, 2020)。作为专门从事野生植物收集、栽培驯化、科学研究和保护利用的研究机构,植物园始终肩负着重要使命,是国家植物多样性保护和可持续利用、相关产业发展的植物源头资源保存库,是国家植物资源本底和生物战略储备的重要组成部分,也是国家宏观决策及公众教育的重要试验、示范和开放场所(黄宏文, 2018a)。植物园体系在应对全球植物多样性保护问题上机遇和挑战并存(Heywood, 2017a, b)。从早期重要经济植物种质资源的引种、栽培、驯化和发掘利用(Hill, 1915; Heywood, 2008, 2011),到目前聚焦濒危植物的保护和恢复回归(Westwood et al, 2020),植物园的目标、功能、社会价值随时代的发展而不断变化(Heywood, 2017b; 黄宏文,

2017b, 2018b; Edwards & Jackson, 2019)。世界经济格局的变化也导致世界植物园分布格局的变化, 部分老的植物园影响力衰退, 而一些新的植物园在新兴经济体国家悄然成长(Heywood, 2017b)。新的时代发展格局下, 世界植物园体系正迅速重组, 以应对拯救植物多样性的巨大挑战和机遇。国家植物园体系建设是我国生物多样性保护的百年大计(黄宏文和廖景平, 2022), 是一项长期的系统工程, 需要科学的顶层设计和规划, 对于植物园迁地保护的科学理论、方法实践和管理等诸多问题, 需要更多广泛而深入地研究和探讨。

致谢: 诚挚感谢参与《中国迁地植物志》项目的各位专家, 感谢张奕奇博士和相关研究人员在收集植物园名录数据方面的支持和帮助。

ORCID

王利松  <https://orcid.org/0000-0001-6706-3637>

廖景平  <https://orcid.org/0000-0002-5053-9261>

黄宏文  <https://orcid.org/0000-0002-1254-5695>

参考文献

- Beech E, Rivers M, Oldfield S, Smith PP (2017) GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions. *Journal of Sustainable Forestry*, 36, 454–489.
- Borsch T, Berendsohn W, Dalcin E, Delmas M, Demissew S, Elliott A, Fritsch P, Fuchs A, Geltman D, Güner A, Haevermans T, Knapp S, Roux MM, Loizeau PA, Miller C, Miller J, Miller JT, Palese R, Paton A, Parnell J, Pendry C, Qin HN, Sosa V, Sosef M, Raab-Straube E, Ranwashe F, Raz L, Salimov R, Smets E, Thiers B, Thomas W, Tulig M, Ulate W, Ung V, Watson M, Jackson PW, Zamora N (2020) World Flora Online: Placing taxonomists at the heart of a definitive and comprehensive global resource on the world's plants. *Taxon*, 69, 1311–1341.
- Bray JR, Curtis JT (1957) An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27, 325–349.
- Chase MW, Reveal JL (2009) A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161, 122–127.
- Chen LZ, Sun H, Guo K (2015) *Flora and Vegetation Geography of China*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [陈灵芝, 孙航, 郭柯 (2015) 中国植物区系与植被地理. 科学出版社, 北京.]
- Cracraft J (2002) The seven great questions of systematic biology: An essential foundation for conservation and the sustainable use of biodiversity. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 89, 127–144.
- Crane PR (2019) An evolutionary and cultural biography of ginkgo. *Plants, People, Planet*, 1, 32–37.
- Daru BH, Farooq H, Antonelli A, Faurby S (2020) Endemism patterns are scale dependent. *Nature Communications*, 11, 2115.
- Díaz S, Zafra-Calvo N, Purvis A, Verburg PH, Obura D, Leadley P, Chaplin-Kramer R, De Meester L, Dulloo E, Martín-López B, Shaw MR, Visconti P, Broadgate W, Bruford MW, Burgess ND, Cavender-Bares J, DeClerck F, Fernández-Palacios JM, Garibaldi LA, Hill SLL, Isbell F, Khoury CK, Krug CB, Liu JG, Maron M, McGowan PJK, Pereira HM, Reyes-García V, Rocha J, Rondinini C, Shannon L, Shin YJ, Snelgrove PVR, Spehn EM, Strassburg B, Subramanian SM, Tewksbury JJ, Watson JEM, Zanne AE (2020) Set ambitious goals for biodiversity and sustainability. *Science*, 370, 411–413.
- Delectis Flora Reipublicae Popularis Sinicae Agendae Academiae Sinicae Edita (1959–2004) *Flora Reipublicae Popularis Sinicae (Tomus 1–80)*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国植物志编辑委员会 (1959–2004) 中国植物志 (第1–80卷). 科学出版社, 北京.]
- Dosmann M, Tredici PD (2003) Plant introduction, distribution, and survival: A case study of the 1980 Sino-American botanical expedition. *BioScience*, 53, 588–597.
- Edwards CE, Jackson PW (2019) The development of plant conservation in botanic gardens and the current and future role of conservation genetics for enhancing those conservation efforts. *Molecular Frontiers Journal*, 3, 44–65.
- Ellis EC, Gauthier N, Klein Goldewijk K, Blietje Bird R, Boivin N, Díaz S, Fuller DQ, Gill JL, Kaplan JO, Kingston N, Locke H, McMichael CNH, Ranco D, Rick TC, Shaw MR, Stephens L, Svenning JC, Watson JEM (2021) People have shaped most of terrestrial nature for at least 12,000 years. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 118, e2023483118.
- Engemann K, Sandel B, Boyle B, Enquist BJ, Jørgensen PM, Kattge J, McGill BJ, Morueta-Holme N, Peet RK, Spencer NJ, Violle C, Wiser SK, Svenning JC (2016) A plant growth form dataset for the New World. *Ecology*, 97, 3243.
- Fang JY, Wang ZH, Tang ZY (2009) *Atlas of Woody Plants in China*. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese) [方精云, 王志恒, 唐志尧 (2009) 中国木本植物分布图集. 高等教育出版社, 北京.]
- Freiberg M, Winter M, Gentile A, Zizka A, Muellner-Riehl AN, Weigelt A, Wirth C (2020) LCVP, The Leipzig Catalogue of Vascular Plants, a new taxonomic reference list for all known vascular plants. *Scientific Data*, 7, 416.
- Gladfelter HJ, Yadav LK, Merkle SA, Wilde HD (2020) Genetic diversity and population structure analysis of *Franklinia alatamaha*, a tree species existing only in cultivation. *Tree Genetics & Genomes*, 16, 60.
- Govaerts R (2001) How many species of seed plants are there? *Taxon*, 50, 1085–1090.

- Govaerts R, Nic Lughadha E, Black N, Turner R, Paton A (2021) The World Checklist of Vascular Plants, a continuously updated resource for exploring global plant diversity. *Scientific Data*, 8, 215.
- Grenié M, Berti E, Carvajal-Quintero J, Dädlow GML, Sagouis A, Winter M (2022) Harmonizing taxon names in biodiversity data: A review of tools, databases and best practices. *Methods in Ecology and Evolution*, 14, 12–25.
- Gu ZG, Eils R, Schlesner M (2016) Complex heatmaps reveal patterns and correlations in multidimensional genomic data. *Bioinformatics*, 32, 2847–2849.
- Heberling JM, Miller JT, Noesgaard D, Weingart SB, Schigel D (2021) Data integration enables global biodiversity synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 118, e2018093118.
- Heywood VH (2008) Botanic Gardens as Introduction Centers for Plants of Economic Importance—A Reappraisal. *Proceedings of the Third Global Botanic Gardens Congress*, pp. 16–20.
- Heywood VH (2011) The role of botanic gardens as resource and introduction centres in the face of global change. *Biodiversity and Conservation*, 20, 221–239.
- Heywood VH (2017a) Plant conservation in the Anthropocene: Challenges and future prospects. *Plant Diversity*, 39, 314–330.
- Heywood VH (2017b) The future of plant conservation and the role of botanic gardens. *Plant Diversity*, 39, 309–313.
- Hill AW (1915) The history and functions of botanic gardens. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 2, 185–240.
- Hortal J, de Bello F, Diniz-Filho JAF, Lewinsohn TM, Lobo JM, Ladle RJ (2015) Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46, 523–549.
- Huang HW (2011) Plant diversity and conservation in China: Planning a strategic bioresource for a sustainable future. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 166, 282–300.
- Huang HW (2014) A Checklist of *Ex Situ* Cultivated Plants of China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [黄宏文 (2014) 中国迁地栽培植物志名录. 科学出版社, 北京.]
- Huang HW (2014–2021) *Ex situ* Flora of China, Vol. 1–22. Science Press, Beijing. (in Chinese) [黄宏文 (2014–2021) 中国迁地植物志(1–22卷). 科学出版社, 北京.]
- Huang HW (2017a) *Encyclopedia of Chinese Garden Flora*, Vol. 1–12. Science Press, Beijing. (in Chinese) [黄宏文 (2017a) 中国迁地栽培植物大全(1–12卷). 科学出版社, 北京.]
- Huang HW (2017b) “Science, art and responsibility”: The scientific and social functional changes of a 500-year history of botanical gardens. I. Artistic appearance. *Biodiversity Science*, 25, 924–933. (in Chinese with English abstract) [黄宏文 (2017b) “艺术的外貌、科学的内涵、使命的担当”——植物园500年来的科研与社会功能变迁(一): 艺术的外貌. 生物多样性, 25, 924–933.]
- Huang HW (2018a) *The Principle and Practice of Ex Situ Plant Conservation*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [黄宏文 (2018a) 植物迁地保育原理与实践. 科学出版社, 北京.]
- Huang HW (2018b) “Science, art and responsibility”: The scientific and social function changes of a 500-year history of botanical gardens. II. Intension of sciences. *Biodiversity Science*, 26, 304–314. (in Chinese with English abstract) [黄宏文 (2018b) “艺术的外貌、科学的内涵、使命的担当”——植物园500年来的科研与社会功能变迁(二): 科学的内涵. 生物多样性, 26, 304–314.]
- Huang HW, Liao JP (2022) On China’s national botanical gardens: Building a comprehensive system of *ex situ* conservation of national botanical gardens with task oriented disciplines. *Biodiversity Science*, 30, 22220. (in Chinese with English abstract) [黄宏文, 廖景平 (2022) 论我国国家植物园体系建设: 以任务带学科构建国家植物园迁地保护综合体系. 生物多样性, 30, 22220.]
- Huang HW, Liao JP, Zhang Z, Zhan QQ (2017) *Ex situ* flora of China. *Plant Diversity*, 39, 357–364.
- Huang HW, Oldfield S, Qian H (2013) Global significance of plant diversity in China. In: *Plants of China: A Companion to the Flora of China* (Chapter 2). (eds Hong DY, Blackmore S), pp. 7–31. Science Press, Beijing.
- IUCN (2012) IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. IUCN Species Survival Commission, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge.
- IUCN (2020) Plant and Fungal Growth Forms Classification Scheme Version:1.1. (https://nc.iucnredlist.org/redlist/content/attachment_files/jul_2020_plant_and_fungal_growth_forms_classification_scheme.pdf). (accessed on 2022-06-01)
- Jin Y, Qian H (2022) V.PhyloMaker2: An updated and enlarged R package that can generate very large phylogenies for vascular plants. *Plant Diversity*, 44, 335–339.
- Joppa LN, Roberts DL, Pimm SL (2011) How many species of flowering plants are there? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278, 554–559.
- Kattge J, Bönnisch G, Díaz S, Lavorel S, Prentice IC, Leadley P, Tautenhahn S, Werner GDA, Aakala T. et al. (omitted remaining 720 coauthors for concise) (2020) TRY plant trait database—Enhanced coverage and open access. *Global Change Biology*, 26, 119–188.
- Kindt R (2020) WorldFlora: An R package for exact and fuzzy matching of plant names against the World Flora Online taxonomic backbone data. *Applications in Plant Sciences*, 8, e11388.
- Kramer A, Hird A, Dosmann M, Mims R, Shaw K (2011) Conserving North America’s threatened plants: Progress report on Target 8 of the Global Strategy for Plant Conservation. *Botanic Gardens Conservation International US*.
- Lin QW (2017) *Catalogue of Cultivated Plants in China*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [林秦文 (2017) 中国栽培植物名录. 科学出版社, 北京.]
- Liu B, Qin HN (2022) Recent advances in the national inventory of higher plant species in China. *Biodiversity Science*, 30, 22397. (in Chinese with English abstract) [刘冰, 覃海宁 (2022) 中国高等植物多样性编目进展. 生物多样性, 30, 22397.]

- 多样性, 30, 22397.]
- Lu MY, He FL (2017) Estimating regional species richness: The case of China's vascular plant species. *Global Ecology and Biogeography*, 26, 835–845.
- Lu ZL, Qin HN, Jin XH, Zhang ZX, Yang QW, Hong DY, Li DZ, Li KF, Yuan LC, Zhou ZH (2021) On the necessity, principle, and process of updating the List of National Key Protected Wild Plants. *Biodiversity Science*, 29, 1577–1582. (in Chinese with English abstract) [鲁兆莉, 覃海宁, 金效华, 张志翔, 杨庆文, 洪德元, 李德铢, 李开凡, 袁良琛, 周志华 (2021) 《国家重点保护野生植物名录》调整的必要性、原则和程序. *生物多样性*, 29, 1577–1582.]
- Lughadha EN, Govaerts R, Belyaeva I, Black N, Lindon H, Allkin R, Magill RE, Nicolson N (2016) Counting counts: Revised estimates of numbers of accepted species of flowering plants, seed plants, vascular plants and land plants with a review of other recent estimates. *Phytotaxa*, 272, 82.
- Ma KP, Shen XL, Grumbine RE, Corlett R (2017) China's biodiversity conservation research in progress. *Biological Conservation*, 210, 1–2.
- Mi XC, Feng G, Zhang J, Hu YB, Zhu L, Ma KP (2021) Review on biodiversity science in China. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 36, 384–398. (in Chinese with English abstract) [米湘成, 冯刚, 张健, 胡义波, 朱丽, 马克平 (2021) 中国生物多样性科学研究进展评述. *中国科学院院刊*, 36, 384–398.]
- Mounce R, Smith P, Brockington S (2017) *Ex situ* conservation of plant diversity in the world's botanic gardens. *Nature Plants*, 3, 795–802.
- Nic Lughadha E, Bachman SP, Leão TCC, Forest F, Halley JM, Moat J, Acedo C, Bacon KL, Brewer RFA, Gâteblé G, Gonçalves SC, Govaerts R, Hollingsworth PM, Krisai-Greilhuber I, Lirio EJ, Moore PGP, Negrão R, Onana JM, Rajaovelona LR, Razanajatovo H, Reich PB, Richards SL, Rivers MC, Cooper A, Iganci J, Lewis GP, Smidt EC, Antonelli A, Mueller GM, Walker BE (2020) Extinction risk and threats to plants and fungi. *Plants, People, Planet*, 2, 389–408.
- Obura DO, Katerere Y, Mayet M, Kaelo D, Msweli S, Mather K, Harris J, Louis M, Kramer R, Teferi T, Samoilys M, Lewis L, Bennie A, Kumah F, Isaacs M, Nantongo P (2021) Integrate biodiversity targets from local to global levels. *Science*, 373, 746–748.
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara B, Simpson L, Solymos P, Stevens M, Henry H, Wagner H (2016) *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.3-4. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>. (accessed on 2022-06-01)
- Paton A, Brummitt N, Govaerts R, Harman K, Hinchcliffe S, Allkin B, Lughadha EN (2008) Towards Target 1 of the Global Strategy for Plant Conservation: A working list of all known plant species—Progress and prospects. *Taxon*, 57, 602–611.
- Perez TM, Valverde-Barrantes O, Bravo C, Taylor TC, Fadrique B, Hogan JA, Pardo CJ, Stroud JT, Baraloto C, Feeley KJ (2019) Botanic gardens are an untapped resource for studying the functional ecology of tropical plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374, 20170390.
- Pierre L, Louis L (2012) *Numerical Ecology*, 3rd. Elsevier Science, Amsterdam.
- POWO (2022) Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. <http://www.plantsoftheworldonline.org/>. (accessed on 2022-04-01)
- Primack RB, Ellwood ER, Gallinat AS, Miller-Rushing AJ (2021) The growing and vital role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist*, 231, 917–932.
- Primack RB, Miller-Rushing AJ (2009) The role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist*, 182, 303–313.
- Qian H, Deng T, Jin Y, Mao LF, Zhao D, Ricklefs RE (2019) Phylogenetic dispersion and diversity in regional assemblages of seed plants in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 116, 23192–23201.
- Qin HN, Yang Y, Dong SY, He Q, Jia Y, Zhao LN, Yu SX, Liu HY, Liu B, Yan YH, Xiang JY, Xia NH, Peng H, Li ZY, Zhang ZX, He XJ, Yin LK, Lin YL, Liu QR, Hou YT, Liu Y, Liu QX, Cao W, Li JQ, Chen SL, Jin XH, Gao TG, Chen WL, Ma HY, Geng YY, Jin XF, Chang CY, Jiang H, Cai L, Zang CX, Wu JY, Ye JF, Lai YJ, Liu B, Lin QW, Xue NX (2017) Threatened species list of China's higher plants. *Biodiversity Science*, 25, 696–744. (in Chinese and in English) [覃海宁, 杨永, 董仕勇, 何强, 贾渝, 赵莉娜, 于胜祥, 刘慧圆, 刘博, 严岳鸿, 向建英, 夏念和, 彭华, 李振宇, 张志翔, 何兴金, 尹林克, 林余霖, 刘全儒, 侯元同, 刘演, 刘启新, 曹伟, 李建强, 陈世龙, 金效华, 高天刚, 陈文俐, 马海英, 耿玉英, 金孝锋, 常朝阳, 蒋宏, 蔡蕾, 臧春鑫, 武建勇, 叶建飞, 赖阳均, 刘冰, 林秦文, 薛纳新 (2017) 中国高等植物受威胁物种名录. *生物多样性*, 25, 696–744.]
- Raven PH (2021) Biodiversity science in China. *National Science Review*, 8, nwab097.
- Ren H, Wen XY, Liao JP, Zheng XC, Yang M, Zhou J (2022) The view on functional changes of botanical gardens and the establishment of China's national botanical garden system. *Biodiversity Science*, 30, 22113. (in Chinese with English abstract) [任海, 文香英, 廖景平, 郑祥慈, 杨明, 周桔 (2022) 试论植物园功能变迁与中国国家植物园体系建设. *生物多样性*, 30, 22113.]
- Revell LJ (2012) *Phytools: An R package for phylogenetic comparative biology (and other things)*. *Methods in Ecology and Evolution*, 3, 217–223.
- Royal Botanic Gardens Kew (2020) *State of the World's Plants and Fungi 2020*. Royal Botanic Gardens, Kew. doi: <https://doi.org/10.34885/172>. (accessed on 2022-06-01)
- Sharrock S, Jones M (2011) Saving Europe's threatened flora: Progress towards GSPC Target 8 in Europe. *Biodiversity and Conservation*, 20, 325–333.
- Silveira FAO, Teixido AL, Zanetti M, Pádua JG, de Andrade ACS, da Costa MLN (2018) *Ex situ* conservation of

- threatened plants in Brazil: A strategic plan to achieve Target 8 of the Global Strategy for Plant Conservation. *Rodriguésia*, 69, 1547–1555.
- Tang CQ, Yang YC, Ohsawa M, Momohara A, Hara M, Cheng SL, Fan SH (2011) Population structure of relict *Metasequoia glyptostroboides* and its habitat fragmentation and degradation in south-central China. *Biological Conservation*, 144, 279–289.
- Taseski GM, Beloe CJ, Gallagher RV, Chan JY, Dalrymple RL, Cornwell WK (2019) A global growth-form database for 143,616 vascular plant species. *Ecology*, 100, e02614.
- Turland NJ, Wiersema JH, Barrie FR, Greuter W, Hawksworth DL, Herendeen PS, Knapp S, Kusber W-H, Li DZ, Marhold K, May TW, McNeill J, Monro AM, Prado J, Price MJ, Smith GF (2018) International Code of Nomenclature for Algae, Fungi, and Plants (Shenzhen Code) adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017. *Regnum Vegetabile* 159. Koeltz Botanical Books, Glashütten.
- Wan X, Zhang LB (2022) Global new taxa of vascular plants published in 2021. *Biodiversity Science*, 30, 22116. (in Chinese with English abstract) [万霞, 张丽兵 (2022) 世界维管植物新分类群2021年度报告. 生物多样性, 30, 22116.]
- Wang LS, Jia Y, Zhang XC, Qin HN (2015) Overview of higher plant diversity in China. *Biodiversity Science*, 23, 217–224. (in Chinese with English abstract) [王利松, 贾渝, 张宪春, 覃海宁 (2015) 中国高等植物多样性. 生物多样性, 23, 217–224.]
- Wang LS, Jia Y, Zhang XC, Qin HN (2018) *Species Catalogue of China* (Vol. 1): Plants. Science Press, Beijing. (in Chinese) [王利松, 贾渝, 张宪春, 覃海宁 (2018) 中国生物物种名录(第一卷): 植物总名录. 科学出版社, 北京.]
- Wang W, Li JS (2021) *In-situ* conservation of biodiversity in China: Advances and prospects. *Biodiversity Science*, 29, 133–149. (in Chinese with English abstract) [王伟, 李俊生 (2021) 中国生物多样性就地保护成效与展望. 生物多样性, 29, 133–149.]
- Webb CO (2000) Exploring the phylogenetic structure of ecological communities: An example for rain forest trees. *The American Naturalist*, 156, 145–155.
- Webb CO, Ackerly DD, McPeck MA, Donoghue MJ (2002) Phylogenies and community ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33, 475–505.
- Westwood M, Cavender N, Meyer A, Smith P (2021) Botanic garden solutions to the plant extinction crisis. *Plants, People, Planet*, 3, 22–32.
- Wu ZY, Raven PH, Hong DY (1994–2013) *Flora of China*, Vols. 1–25. Science Press, Beijing & Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.
- Yang J, Cai L, Liu DT, Chen G, Gratzfeld J, Sun WB (2020) China's conservation program on Plant Species with Extremely Small Populations (PSESP): Progress and perspectives. *Biological Conservation*, 244, 108535.
- Zheng JY, Yin YH, Li BY (2010) A new scheme for climate regionalization in China. *Acta Geographica Sinica*, 65, 3–12. (in Chinese with English abstract) [郑景云, 尹云鹤, 李炳元 (2010) 中国气候区划新方案. 地理学报, 65, 3–12.]

(责任编辑: 马克平 责任编辑: 周玉荣)

附录 Supplementary Material

附录1 植物园名称、缩写代码、所处植物区系和气候区划单元以及迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有植物迁地保护物种数量

Appendix 1 Sampled botanic gardens' names, abbreviated codes, their belonging floristic and climate units, conserved number of species on National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species and species endemic to China.

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022495-1.pdf>

附录2 迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有植物的比例和空缺在各科的分布

Appendix 2 The *ex situ* conserved species for National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species, and species endemic to China counted according to their belonging families and corresponding gaps

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022495-2.pdf>

附录3 各植物园迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有植物的系统发育多样性

Appendix 3 Phylogenetic diversity of the *ex situ* conserved National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species and species endemic to China in each botanic garden

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022495-3.pdf>

附录4 我国植物园迁地保护的3类植物的系统发育树

Appendix 4 Phylogenetic tree on *ex situ* conserved National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species, and species endemic to China

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022495-4.pdf>

附录1 植物园名称、缩写代码、所处植物区系和气候区划单元以及迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有植物迁地保护物种数量

Appendix 1 Sampled botanic gardens' names, abbreviated codes, their belonging floristic and climate units, conserved number of species on National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species and species endemic to China.

编号	缩写 Abbreviated code	植物园名称 Name	植物区系亚区 Floristic subkingdom	气候带 Climate zone	国家重点保 护种数 NKPWP	受威胁物种数 Threatened species	特有种数 Endemic species
1	AHHABG	黄山树木园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	23	26	90
2	AHHFBG	合肥植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	43	58	226
3	BBG	北京市植物园	中国-日本森林植物亚区	温带半干旱	156	211	295
4	BTBG	北京教学植物园	中国-日本森林植物亚区	温带半湿润	72	77	190
5	CBG	上海辰山植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	200	324	883
6	CDBG	成都市植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	105	150	367
7	CRICATAS	海南热带植物园	马来西亚亚区	热带湿润	1	3	0
8	CZNLBG	南岭植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	65	78	364
9	DGBG	东莞植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	140	222	468
10	FBG	福州植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	129	199	642
11	FJAFBG	福建农林大学教学植 物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	57	70	161
12	FLBG	深圳仙湖植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	297	487	853
13	FSLKS	佛山林业科学研究所 (佛山植物园)	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	50	84	88
14	GBG	贵州省植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	165	223	710
15	GDABG	广东省林业科学研究 院广东树木公园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	47	82	148
16	GDHZBG	惠州植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	50	70	56
17	GDMBG	广东药科大学药用植 物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	9	8	21
18	GMG	广西药用植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	114	164	278
19	GNA	赣南树木园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	129	191	528
20	GXIB	桂林植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	217	381	1024
21	GXNABG	南宁树木园	马来西亚亚区	亚热带湿润	70	96	122
22	GYMBG	贵阳药用植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	39	46	161
23	HBG	杭州植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	209	330	1026
24	HBTGBG	三峡植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	62	74	198
25	HFBG	黑龙江省森林植物园	欧亚草原亚区	温带半湿润	20	35	41
26	HKKFBG	嘉道理农场暨植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	34	54	118
27	HNFBG	湖南省森林植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	61	83	404
28	HNTFABG	尖峰岭热带植物园	马来西亚亚区	热带湿润	76	134	123
29	HNXMBG	兴隆药用植物园	马来西亚亚区	热带湿润	54	97	113
30	IAE	沈阳树木园	中国-日本森林植物亚区	温带湿润	23	40	73
31	IBCAS	北京植物园	中国-日本森林植物亚区	温带半干旱	144	185	477
32	JYSBG	重庆市植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	46	62	285
33	KBG	昆明植物园	中国-喜马拉雅植物亚区	亚热带湿润	320	525	876
34	LSBG	庐山植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	106	131	477
35	LZABG	兰州树木园	中亚荒漠亚区	温带半干旱	8	11	28

王利松, 湛青青, 廖景平, 黄宏文 (2023) 我国迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有维管植物多样性. 生物多样性, 31, 22495. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2022495>.

编号	缩写 Abbreviated code	植物园名称 Name	植物区系亚区 Floristic subkingdom	气候带 Climate zone	国家重点保 护种数 NKPWP	受威胁物种数 Threatened species	特有种数 Endemic species
36	LZUGB	兰州植物园	中亚荒漠亚区	温带半干旱	8	14	61
37	MQDBG	民勤沙生植物园	中亚荒漠亚区	温带干旱	20	31	53
38	MZGB	麦积植物园	中国-日本森林植物亚区	温带半湿润	14	16	27
39	NBBG	宁波植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	57	83	274
40	NBG	南京中山植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	251	409	1120
41	NSBG	重庆市南山植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	116	165	457
42	QLNBG	秦岭国家植物园	中国-日本森林植物亚区	温带半湿润	44	60	254
43	SCAUABG	华南农业大学树木园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	43	55	64
44	SCBG	华南国家植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	436	844	1835
45	SDTMBG	山东中医药高等专科 学校植物园	中国-日本森林植物亚区	温带半湿润	24	26	72
46	SJZBG	石家庄市植物园	中国-日本森林植物亚区	温带半干旱	4	12	37
47	SSBG	南亚热带植物园	马来西亚亚区	热带湿润	38	57	57
48	SYBG	沈阳市植物园	中国-日本森林植物亚区	温带湿润	27	39	90
49	SZLKBG	深圳兰科植物保护研 究中心植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	102	136	27
50	SZMBG	广东神州木兰园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	12	35	31
51	TBG	台北植物园	马来西亚亚区	亚热带湿润	33	54	88
52	TDBG	吐鲁番沙漠植物园	欧亚森林亚区	温带干旱	17	29	53
53	TNMNS	国立自然科学博物馆 植物园	马来西亚亚区	亚热带湿润	103	147	164
54	TSBG	唐山植物园	中国-日本森林植物亚区	温带半湿润	14	20	67
55	TSMUBG	第二军医大学药用植 物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	34	30	105
56	WBG	武汉植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	377	835	2351
57	WCSBG	华西亚高山植物园	中国-喜马拉雅植物亚区	亚热带湿润	83	184	832
58	XABG	西安植物园	中国-日本森林植物亚区	温带半湿润	63	81	281
59	XJUBG	乌鲁木齐市植物园	中亚荒漠亚区	温带干旱	17	23	22
60	XLTBG	兴隆热带植物园	马来西亚亚区	热带湿润	100	177	172
61	XMBG	厦门市园林植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	217	324	466
62	XNBG	西宁市园林植物园	中国-喜马拉雅植物亚区	温带半干旱	13	17	129
63	XOIG	厦门华侨亚热带植物 引种园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	60	79	75
64	XTBG	西双版纳热带植物园	马来西亚亚区	亚热带湿润	372	897	1294
65	XYE	熊岳树木园	中国-日本森林植物亚区	温带湿润	12	18	44
66	YCBG	银川植物园	中亚荒漠亚区	温带干旱	18	20	65
67	ZAFU	浙江农林大学植物园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	83	104	396
68	ZSABG	中山树木园	中国-日本森林植物亚区	亚热带湿润	101	144	324
69	ZZBG	郑州植物园	中国-日本森林植物亚区	温带半湿润	45	58	160

附录2 迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有植物的比例和空缺在各科的分布

Appendix 2 The *ex situ* conserved species for National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species, and species endemic to China counted according to their belonging families and corresponding gaps

科名 Family	国家重点保护 NKPWP			受威胁 Threatened species			特有 Endemic species		
	迁地种数 No. of <i>ex situ</i> conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of <i>ex situ</i> conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of <i>ex situ</i> conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)
Acanthaceae							59	117	50
Achariaceae	1	1	100	4	4	100			
Actinidiaceae	5	5	100	28	48	58	37	63	59
Adoxaceae				1	2	50	1	2	50
Agavaceae							2	3	67
Akaniaceae	1	1	100						
Alismataceae	3	3	100	8	9	88	3	2	100
Alliaceae				1	5	20	23	56	41
Altingiaceae	1	1	100	5	5	100	5	5	100
Amaranthaceae		2		2	5	40	1	26	4
Amaryllidaceae				4	5	80	10	12	83
Amphorogynaceae				0	2	0	1	2	50
Anacardiaceae	1	1	100	8	11	72	12	27	44
Ancistrocladaceae				1	1	100			
Annonaceae	1	1	100	22	26	84	21	27	78
Anthericaceae					1		3	5	60
Apiaceae	5	7	71	11	31	35	68	329	21
Apocynaceae	2	2	100	17	36	47	61	149	41
Aquifoliaceae	1	1	100	14	27	51	73	152	48
Araceae				29	44	65	38	65	58
Araliaceae	5	10	50	12	24	50	43	83	52
Arecaceae	6	6	100	17	19	89	16	21	76
Aristolochiaceae				13	20	65	17	29	59
Asaraceae	2	2	100	15	20	75	25	36	69
Asparagaceae				3	3	100	6	14	43
Asphodelaceae							1	1	100
Aspleniaceae	1	1	100	4	6	66	6	15	40
Asteraceae	3	8	38	6	17	35	194	1115	17
Athyriaceae				8	13	61	26	116	22
Balsaminaceae				1	3	33	63	218	29
Begoniaceae	6	7	86	18	21	85	128	145	88
Berberidaceae	9	10	90	39	47	82	134	201	67
Betulaceae	3	3	100	6	10	60	29	55	53
Biebersteiniaceae							1	1	100
Bignoniaceae				3	8	37	13	17	76
Blechnaceae	1	1	100	1	3	33	1	1	100
Bombacaceae				0	1	0			
Boraginaceae		1		2	8	25	15	150	10
Borhwickiaceae				1	1	100			
Brassicaceae				0	17	0	13	118	11
Brownlowiaceae	1	1	100	1	1	100	1	1	100
Burmanniaceae				0	1	0	0	1	0
Burseraceae				3	3	100	2	2	100

科名 Family	国家重点保护 NKPWP			受威胁 Threatened species			特有 Endemic species		
	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)
Buxaceae				7	10	70	15	27	56
Cabombaceae	1	1	100	1	1	100			
Calophyllaceae				1	1	100	1	1	100
Calycanthaceae	1	1	100	2	2	100	6	6	100
Campanulaceae		1		1	15	6	17	84	20
Cannabaceae				2	2	100	5	5	100
Capparaceae				5	8	62	3	7	43
Caprifoliaceae	1	2	50	2	10	20	19	30	63
Caryophyllaceae	1	1	100	2	10	20	16	197	8
Celastraceae	2	2	100	19	32	59	68	112	61
Centropiaceae	1	1	100	1	1	100			
Cercidiphyllaceae	1	1	100						
Chloranthaceae				1	1	100	5	9	56
Cibotiaceae	2	2	100						
Circaeasteraceae	1	1	100	1	1	100	1	1	100
Cistaceae	1	1	100	1	1	100			
Clethraceae				1	2	50	3	4	75
Clusiaceae	2	2	100	6	6	100	10	12	83
Colchicaceae				0	1	0	3	8	38
Combretaceae	3	3	100	4	4	100	0	1	0
Commelinaceae				1	1	100	5	8	62
Connaraceae				1	2	50	1	1	100
Convolvulaceae				1	2	50	7	25	28
Cordiaceae	1	1	100						
Cornaceae				4	4	100	9	18	50
Corsiaceae							1	1	100
Costaceae				1	1	100	2	2	100
Crassulaceae	6	10	60	11	52	21	27	139	19
Crypteroniaceae				1	1	100			
Cucurbitaceae	1	1	100	12	28	42	24	86	28
Cupressaceae	13	13	100	13	19	68	13	19	68
Cyatheaceae	12	15	80	4	4	100	1	1	100
Cycadaceae	23	24	96	22	22	100	13	12	100
Cymodoceaceae				0	2	0			
Cynomoriaceae	1	1	100	1	1	100			
Cyperaceae				3	14	21	61	340	18
Daphniphyllaceae							2	2	100
Davalliaceae				1	2	50	2	1	100
Dennstaedtiaceae							1	11	9
Diapensiaceae					1			1	
Dilleniaceae				1	1	100	1	1	100
Dioscoreaceae				26	28	92	17	21	81
Dipentodontaceae				0	1	0	1	2	50
Dipsacaceae				0	1	0	1	3	33
Dipteridaceae				2	2	100			
Dipterocarpaceae	8	9	89	9	12	75			

科名 Family	国家重点保护 NKPWP			受威胁 Threatened species			特有 Endemic species		
	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)
Droseraceae	1	1	100	1	1	100	1	1	100
Dryopteridaceae				19	27	70	78	174	45
Ebenaceae	1	2	50	4	8	50	26	41	63
Ehretiaceae				1	1	100	4	7	57
Elaeagnaceae	1	1	100	4	8	50	23	54	43
Elaeocarpaceae				8	17	47	10	27	37
Ephedraceae	1	1	100	1	2	50	2	4	50
Ericaceae	5	7	71	86	142	60	270	606	45
Eriocaulaceae				1	2	50	2	13	15
Eucommiaceae				1	1	100	1	1	100
Euphorbiaceae	1	1	100	18	23	78	32	50	64
Fabaceae	40	58	69	60	126	47	157	638	25
Fagaceae	5	6	83	32	72	44	97	166	58
Frankeniaceae		1			1				
Fumariaceae	1	1	100	2	12	16	23	281	8
Garryaceae				1	2	50	4	11	36
Gentianaceae		1		4	15	26	41	280	15
Geraniaceae							6	18	33
Gesneriaceae	4	4	100	49	73	67	309	447	69
Ginkgoaceae	1	1	100	1	1	100	1	1	100
Gleicheniaceae							1	3	33
Gnetaceae					1		4	6	67
Grossulariaceae							11	46	24
Haloragaceae	1	1	100	1	2	50		2	
Hamamelidaceae	3	4	75	19	33	57	37	51	73
Helicteraceae	1	1	100	3	6	50	9	14	64
Heliotropiaceae							1	2	50
Helwingiaceae							1	4	25
Hemerocallidaceae					1		3	5	60
Hernandiaceae	1	1	100	1	2	50	3	8	38
Hydrangeaceae	2	2	100	3	4	75	47	97	48
Hydrocharitaceae	4	10	40	3	3	100	2	7	29
Hymenophyllaceae				2	8	25	0	6	0
Hypericaceae				4	10	40	18	41	44
Hypodematiaceae							3	7	43
Hypoxidaceae				1	1	100	3	3	100
Icacinaceae				4	5	80	6	6	100
Iridaceae		1		2	5	40	16	26	62
Isoetaceae	4	5	80	4	5	80			
Iteaceae							7	12	58
Ixioliriaceae							1	1	100
Ixonanthaceae				1	1	100			
Juglandaceae	1	2	50	6	7	85	6	10	60
Juncaceae							1	19	5
Lamiaceae	1	2	50	19	58	32	189	603	31
Lardizabalaceae				2	3	66	14	24	58

科名 Family	国家重点保护 NKPWP			受威胁 Threatened species			特有 Endemic species		
	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)
Lauraceae	11	11	100	72	99	72	196	289	68
Lecythidaceae				2	2	100			
Lentibulariaceae		1			1		1	4	25
Liliaceae	14	48	29	16	47	34	19	80	24
Linderniaceae							2	13	15
Lindsaeaceae				4	5	80	0	1	0
Linnaeaceae				3	3	100	6	6	100
Loganiaceae				2	2	100	5	8	62
Lomariopsidaceae				0	1	0	0	1	0
Loranthaceae				0	1	0	4	19	21
Lowiaceae	2	2	100	2	2	100	3	3	100
Lycopodiaceae	23	51	45	8	11	72	8	25	32
Lygodiaceae				1	1	100			
Lythraceae	3	4	75	6	7	85	7	10	70
Maesaceae							5	10	50
Magnoliaceae	24	24	100	70	72	97	66	65	100
Malpighiaceae				1	1	100	3	9	33
Malvaceae				9	10	90	16	23	70
Marantaceae				2	2	100			
Marattiaceae	21	31	68	5	5	100	11	14	79
Mazaceae							9	22	41
Melanthiaceae	15	32	47	11	20	55	11	28	39
Melastomataceae	1	1	100	7	12	58	32	59	54
Meliaceae	3	3	100	6	7	85	2	4	50
Memecylaceae				1	1	100	2	5	40
Menispermaceae	2	2	100	13	23	56	18	38	47
Menyanthaceae							1	1	100
Metteniusaceae				1	1	100			
Mitrastemonaceae					1				
Moraceae	3	4	75	20	27	74	15	32	47
Morinaceae							3	7	43
Musaceae					1		5	14	36
Myricaceae				1	1	100	2	2	100
Myristicaceae	3	3	100	3	3	100			
Myrsinaceae				10	19	52	66	150	44
Myrtaceae				7	9	77	34	50	68
Nartheciaceae							4	10	40
Nelumbonaceae	1	1	100						
Nepenthaceae				1	1	100			
Nitrariaceae					1		1	1	100
Nyctaginaceae					1			2	
Nymphaeaceae	1	1	100	2	3	66	0	1	0
Nyssaceae	2	2	100	4	5	80	4	6	67
Ochnaceae	1	1	100	1	1	100	1	1	100
Olacaceae					1			1	
Oleaceae	4	4	100	10	14	71	55	76	72

科名 Family	国家重点保护 NKPWP			受威胁 Threatened species			特有 Endemic species		
	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)
Oleandraceae				2	2	100			
Onagraceae					4			11	
Ophioglossaceae	2	2	100	2	2	100		3	
Opiliaceae							1	1	100
Orchidaceae	201	269	75	423	634	66	177	464	38
Orobanchaceae	1	3	33	2	36	5	15	382	4
Osmundaceae				1	1	100	1	1	100
Oxalidaceae							1	2	50
Paeoniaceae	7	11	64	8	10	80	10	12	83
Pandanaceae							1	1	100
Papaveraceae	1	3	33	0	7		10	45	22
Parnassiaceae							3	44	7
Passifloraceae				3	5	60	4	5	80
Paulowniaceae							6	10	60
Pentapetaceae	4	5	80	9	10	90	6	7	86
Pentaphragmataceae							1	1	100
Phymaceae				1	1	100	3	8	38
Phyllanthaceae				2	3	66	22	37	59
Phytolaccaceae							1	1	100
Pinaceae	18	23	78	35	47	74	29	51	57
Piperaceae				3	5	60	20	32	62
Pittosporaceae				2	4	50	25	46	54
Plagiogyriaceae							0	1	0
Plantaginaceae	2	2	100	1	3	33	11	62	18
Plumbaginaceae				2	3	66	4	12	33
Poaceae	13	29	45	25	51	49	305	768	40
Podocarpaceae	6	8	75	9	10	90	1	2	50
Podostemaceae	3	6	50	3	5	60		1	
Polemoniaceae								1	
Polygalaceae				3	6	50	9	26	35
Polygonaceae	1	1	100	6	13	46	22	70	31
Polypodiaceae	1	1	100	11	21	52	19	54	35
Posidoniaceae				0	1	0			
Primulaceae		1		13	30	43	101	234	43
Proteaceae				3	5	60	7	12	58
Psilotaceae				1	1	100			
Pteridaceae	3	3	100	12	16	75	31	80	39
Putranjivaceae							0	4	0
Rafflesiaceae	1	1	100	1	1	100			
Ranunculaceae	4	10	40	20	84	23	107	751	14
Rehmanniaceae		1		1	3	33	6	9	67
Rhamnaceae	1	1	100	8	11	72	46	91	51
Rhizophoraceae				3	3	100	2	2	100
Rosaceae	17	21	81	32	60	53	312	706	44
Rubiaceae	4	4	100	20	48	41	134	356	38
Ruscaceae	2	2	100	10	21	47	101	168	60

科名 Family	国家重点保护 NKPWP			受威胁 Threatened species			特有 Endemic species		
	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)
Rutaceae	5	5	100	9	16	56	32	60	53
Sabiaceae				1	1	100	13	24	54
Salicaceae				11	49	22	52	266	20
Samydaceae				0	1	0			
Sapindaceae	11	12	92	40	47	85	50	64	78
Sapotaceae	3	3	100	3	6	50	4	8	50
Saururaceae				1	1	100	1	1	100
Saxifragaceae				2	5	40	27	211	13
Scheuchzeriaceae		1			1				
Schisandraceae	2	2	100	3	3	100	25	36	69
Schizaeaceae				1	2	50			
Schoepfiaceae							1	2	50
Scrophulariaceae		1		2	6	33	8	33	24
Selaginellaceae							8	14	57
Simaroubaceae							3	5	60
Sladeniaceae					1			1	
Smilacaceae					4		26	47	55
Solanaceae	2	2	100	9	15	60	12	25	48
Sparrmanniaceae				1	1	100	4	14	29
Stachyuraceae				2	2	100	4	3	100
Staphyleaceae				1	3	33	5	11	45
Stemonaceae				2	2	100	4	4	100
Stemonuraceae				2	2	100			
Sterculiaceae	7	8	88	13	17	76	10	22	45
Styracaceae	6	8	75	19	22	86	25	34	74
Surianaceae	1	1	100						
Symplocaceae				2	7	28	7	17	41
Taccaceae				3	3	100	2	2	100
Tamaricaceae	1	1	100	4	9	44	10	12	83
Tapisciaceae							1	1	100
Taxaceae	17	21	81	13	17	76	8	11	73
Tectariaceae				4	6	66	4	7	57
Ternstroemiaceae	1	1	100	17	31	54	51	100	51
Tetracentraceae	1	1	100				1	1	100
Tetramelaceae	1	1	100	1	1	100			
Theaceae	25	35	71	42	59	71	90	139	65
Thelypteridaceae				3	5	60	14	53	26
Thesiaceae					2		1	9	11
Thismiaceae							0	3	0
Thymelaeaceae	2	2	100	5	15	33	30	95	32
Tiliaceae	2	2	100	3	6	50	10	25	40
Tofieldiaceae							2	2	100
Triuridaceae					1			1	
Trochodendraceae				1	1	100			
Typhaceae		1		2	5	40	2	6	33
Ulmaceae	2	2	100	6	7	85	14	20	70

王利松, 湛青青, 廖景平, 黄宏文 (2023) 我国迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有维管植物多样性. 生物多样性, 31, 22495. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2022495>.

科名 Family	国家重点保护 NKPWP			受威胁 Threatened species			特有 Endemic species		
	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)	迁地种数 No. of ex situ conserved	总种数 No. of total species	迁地比例 Proportion (%)
Urticaceae				6	13	46	58	285	20
Valerianaceae	1	1	100				2	19	11
Velloziaceae		1			1			1	
Viburnaceae				4	8	50	36	51	71
Violaceae				4	14	28	19	47	40
Viscaceae							2	8	25
Vitaceae	1	2	50	4	19	21	31	94	33
Woodsiaceae		1		1	2	50	2	16	12
Ximeniaceae	1	1	100	1	1	100	1	1	100
Xyridaceae				1	1	100	1	1	100
Zingiberaceae	5	5	100	20	22	90	86	108	80
Zosteraceae					4				
Zygophyllaceae	1	1	100	1	1	100	1	3	33

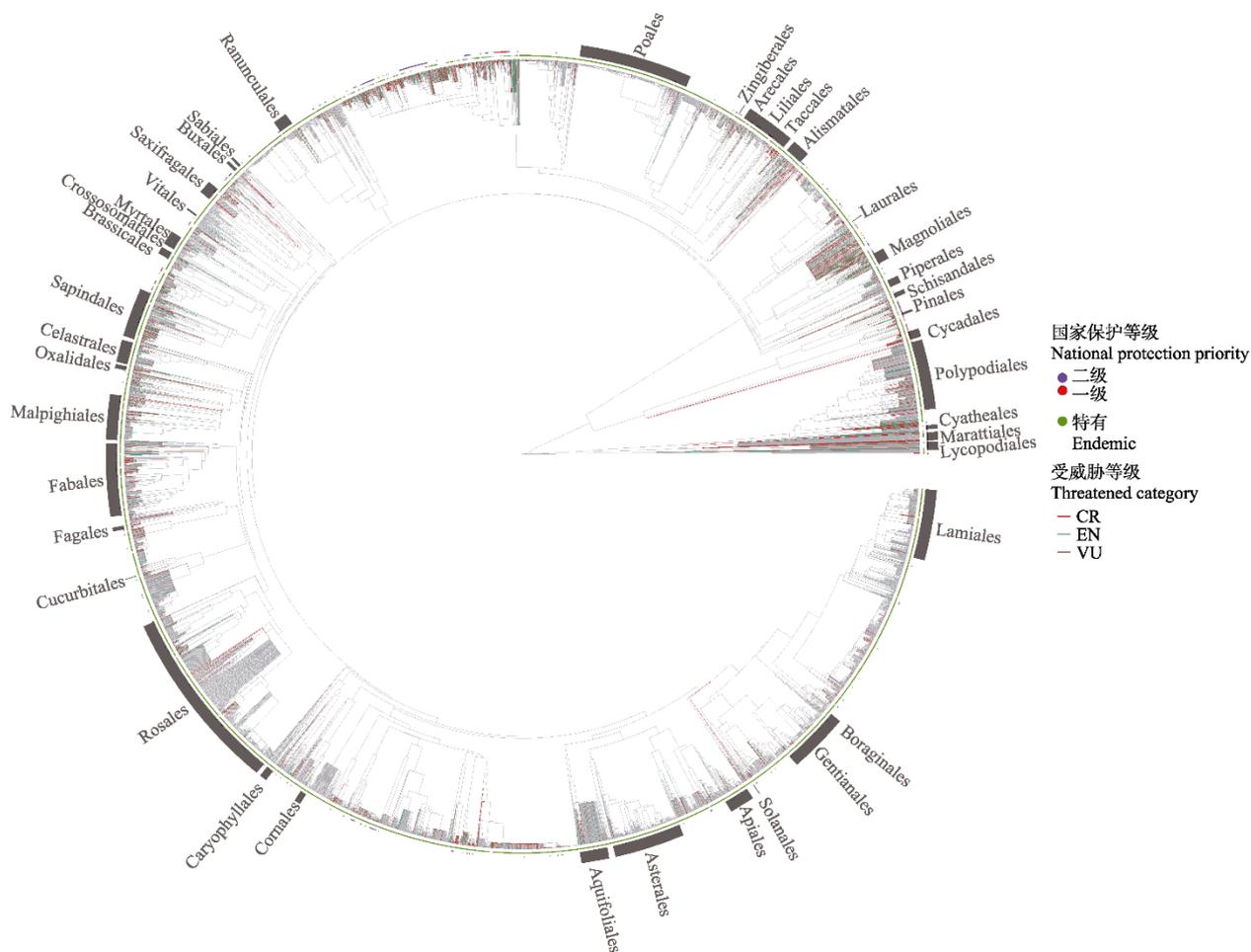
附录3 各植物园迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有植物的系统发育多样性, PDI和NRI通过重复1,000次随机选择系统发育树上和各植物园包括的迁地物种数量相等的样本, 计算随机平均值与观察到的系统发育多样性(PD)的差异

Appendix 3 Phylogenetic diversity of the *ex situ* conserved National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species and species endemic to China in each botanic garden. The values of PDI and NRI were calculated the difference between the random mean and the observed phylogenetic diversity (PD) by random shuffles taxa labels across tips of phylogeny with equal numbers of species hold in each botanic garden with replicating 1,000 times

缩写 Abbreviated code	种数 No. of species	观察到的 PD 值 Observed PD	随机化的 PD 均值 Mean of random PD	随机化的 PD 方差 Std. of random PD	标准化的系统发育 多样性指数 Standardized PDI	标准化的净相关 指数 Standardized NRI
AHHABG	105	7146.383	8013.294	449.0874	-1.93038	-1.48102
AHHFBG	261	13452.69	14441.43	582.7303	-1.69673	1.062832
BBG	473	19972.43	20958.35	668.9358	-1.47386	-0.50255
BTBG	258	16711.08	14348.51	579.469	4.077126	-5.03818
CBG	1123	37869.56	36191.13	811.2375	2.068968	-4.82466
CDBG	459	19346.98	20559.05	668.6904	-1.8126	-1.80372
CRICATAS	3	469.7393	691.8429	109.7278	-2.02413	1.70451
CZNLBG	426	19758.57	19624.84	690.2271	0.193754	0.783094
DGBG	617	23960.33	24822.96	688.127	-1.25359	-0.1522
FBG	779	27702.17	28667.28	749.7519	-1.28724	-0.701
FJAFBG	215	14370.72	12741.58	550.8687	2.957406	-2.84293
FLBG	1210	38257.44	37988.01	851.6228	0.31637	-11.478
FSLKS	146	9649.329	9939.566	520.5671	-0.55754	0.052181
GBG	873	29755.4	30803.59	788.4048	-1.32951	-1.10314
GDABG	208	9898.742	12448.57	554.0074	-4.60252	-0.90238
GDHZBG	123	8087.724	8895.993	490.0724	-1.64928	-0.4607
GDMBG	28	3708.928	3200.832	304.385	1.669255	-1.77597
GMG	424	21750.2	19556.38	662.8475	3.309678	-1.93181
GNA	652	25725.76	25646.49	717.1502	0.110528	-1.12626
GXIB	1253	35702.54	38812.28	832.7465	-3.73431	1.045066
GXNABG	197	11938.08	12056	551.1441	-0.21395	-1.40484
GYMBG	201	12789.77	12187.76	566.6291	1.062447	-1.58037
HBG	1251	36744.66	38741.39	850.0141	-2.34906	1.777581
HBTGBG	238	12362.55	13592.78	595.2802	-2.06663	-1.77805
HFBG	78	5840.394	6578.411	431.6647	-1.7097	-0.6851
HKKFBG	167	12964.44	10856.58	524.3423	4.020003	-4.7532
HNFBG	462	20975.24	20644.73	659.2681	0.50132	0.629721
HNTFABG	217	11276.33	12801.03	564.3792	-2.70155	-0.78384
HNXMBG	188	12159.29	11698.94	549.8235	0.837277	0.1068
IAE	107	6865.289	8106.976	467.6942	-2.65491	-1.64882
IBCAS	626	22868.71	24991.78	753.063	-2.81924	-5.68003
JYSBG	329	17861.56	16663.46	598.9474	2.000345	-0.62128
KBG	1259	40910.12	38946.65	844.9234	2.323843	-7.40717
LSBG	581	24579.64	23877.97	735.6909	0.953753	-3.3673
LZABG	34	3271.703	3667.616	319.7099	-1.23835	-2.23361
LZUGB	71	5034.37	6169.965	398.715	-2.84814	-0.91288
MQDBG	85	4924.795	6973.401	433.4395	-4.7264	1.071985
MZGB	37	3516.165	3917.546	336.0587	-1.19438	-2.75304
NBBG	317	13339.64	16294.39	606.2246	-4.87401	1.684117
NBG	1415	40963.75	41967.87	858.3019	-1.16989	-2.82282
NSBG	565	21475.67	23429.73	701.9419	-2.7838	0.714793
QLNGB	290	12872.65	15412.95	576.5721	-4.40587	1.696403

王利松, 湛青青, 廖景平, 黄宏文 (2023) 我国迁地保护的国家重点保护、受威胁和特有维管植物多样性. 生物多样性, 31, 22495. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2022495>.

缩写 Abbreviated code	种数 No. of species	观察到的 PD 值 Observed PD	随机化的 PD 均值 Mean of random PD	随机化的 PD 方差 Std. of random PD	标准化的系统发育 多样性指数 Standardized PDI	标准化的净相关 指数 Standardized NRI
SCAUABG	113	8282.165	8405.167	452.2943	-0.27195	-3.68121
SCBG	2417	59271.37	59897.53	958.8048	-0.65306	-0.30661
SDTMBG	101	8285.608	7798.689	445.3834	1.09326	-0.46655
SJZBG	44	4089.608	4418.048	342.5604	-0.95878	0.010507
SSBG	112	8627.639	8342.607	460.8636	0.618474	-1.05253
SYBG	130	8449.948	9238.536	501.2542	-1.57323	-0.55615
SZLKBG	164	2467.886	10732.21	513.614	-16.0905	13.30417
SZMBG	44	2553.838	4428.712	351.4389	-5.33485	6.119218
TBG	141	10333.62	9728.535	507.0436	1.19335	-3.32217
TDBG	81	5168.468	6761.382	416.1874	-3.8274	1.507751
TNMNS	315	15836.42	16210.76	622.8207	-0.60104	-2.80304
TSBG	84	5226.423	6918.442	426.9854	-3.96271	-0.82764
TSMMUBG	130	9280.882	9208.596	480.7084	0.150373	0.277792
WBG	2855	61960.39	67158.79	990.2214	-5.24974	3.844809
WCSBG	919	27436.38	31794.16	764.2823	-5.7018	5.546657
XABG	336	16508.74	16926.16	624.8722	-0.66801	-0.20576
XJUBG	45	4024.679	4495.693	358.2914	-1.31461	-1.63097
XLTBG	315	17401.95	16240.94	626.2846	1.853804	-7.65189
XMBG	735	26373.49	27631.87	756.5182	-1.66339	-2.96335
XNBG	144	7778.602	9844.342	504.2871	-4.09636	0.864365
XOIG	152	11770.23	10195.15	510.6911	3.08422	-5.49209
XTBG	1948	52769.6	51821.9	902.0467	1.050612	-1.26281
XYE	59	4161.977	5433.105	368.1841	-3.45243	-1.62384
YCBG	86	6115.103	7027.267	437.0428	-2.08713	0.713088
ZAFU	464	20928.49	20706.04	672.0239	0.331011	-0.42429
ZSABG	406	14926.73	19042.22	632.5681	-6.506	1.360984
ZZBG	200	11404	12172.2	534.6965	-1.43669	0.123252



附录4 我国植物园迁地保护的3类植物的系统发育树。分支颜色表示受威胁等级, 由内到外的颜色标记的环形表示系统发育树上对应种的特有性和国家重点保护等级, 目学名仅显示所包括的种 ≥ 10 。

Appendix 4 Phylogenetic tree on *ex situ* conserved National Key Protected Wild Plants (NKPWP), threatened species, and species endemic to China. Branch colored according to threatened categories of the corresponding species on the phylogenetic tree, the color-marked rings from inside to outside indicate whether it is endemic to China and the national protection priority, the order labeled only for included species ≥ 10 .